

10/563679

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/005469

International filing date: 17 March 2005 (17.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-077098
Filing date: 17 March 2004 (17.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 26 May 2005 (26.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

10/5636/9

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2 0 0 4 年 3 月 1 7 日

出 願 番 号

Application Number:

特 願 2 0 0 4 - 0 7 7 0 9 8

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 4 - 0 7 7 0 9 8

出 願 人

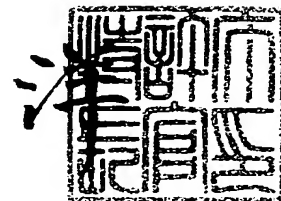
Applicant(s):

松下電工株式会社

2 0 0 5 年 5 月 1 1 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 03P02947
【提出日】 平成16年 3月17日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01J 1/10
H01L 31/04

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内
【氏名】 橋本 裕介

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内
【氏名】 高田 裕司

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内
【氏名】 栗原 史和

【発明者】
【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内
【氏名】 常定 扶美

【特許出願人】
【識別番号】 000005832
【氏名又は名称】 松下電工株式会社

【代理人】
【識別番号】 100087767
【弁理士】
【氏名又は名称】 西川 愚清
【電話番号】 06-6345-7777

【選任した代理人】
【識別番号】 100085604
【弁理士】
【氏名又は名称】 森 厚夫

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 053420
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9004844

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

別に設けた光源から放射された光を受光可能であって受光量に応じた個数の正孔および電子を生成する感光部と、感光部で生成された正孔と電子との一方を目的キャリアとし他方を非目的キャリアとして光源の点灯期間に感光部で生成された目的キャリアと光源の消灯期間に感光部で生成された非目的キャリアとを外部信号により制御されるタイミングで再結合させる再結合部と、再結合前の時点において点灯期間に生成された目的キャリアの個数が消灯期間に生成された非目的キャリアの個数よりも多くなっているように調節するキャリア数調節部と、再結合部において再結合させた後に残留した目的キャリアを外部に取り出す出力部とを1つの半導体装置として構成して成ることを特徴とする光検出素子。

【請求項 2】

前記キャリア数調節部は、前記感光部で生成された目的キャリアを保持する目的キャリア保持部と、前記感光部で生成された非目的キャリアを保持する非目的キャリア保持部と、感光部で生成され目的キャリア保持部に保持される目的キャリアの個数が感光部で生成され非目的キャリア保持部に保持される非目的キャリアの個数よりも多くなるように目的キャリアと非目的キャリアとを振り分けるキャリア弁別部とを備え、前記再結合部は、目的キャリア保持部に保持された目的キャリアと非目的キャリア保持部に保持された非目的キャリアとを再結合させることを特徴とする請求項 1 記載の光検出素子。

【請求項 3】

前記キャリア弁別部は、前記消灯期間において前記目的キャリア保持部に保持された目的キャリアを前記点灯期間の前に廃棄させるスイッチ要素を備えることを特徴とする請求項 2 記載の光検出素子。

【請求項 4】

前記出力部は、前記再結合部での再結合により残留した目的キャリアを積分する積分機能を有することを特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 項に記載の光検出素子。

【請求項 5】

半導体基板の主表面に形成された第 1 導電形の素子形成層と、素子形成層の主表面側に設けられ前記目的キャリアを保持する目的キャリア保持部となる第 2 導電形のウェル領域と、ウェル領域内でウェル領域の主表面側に設けられ前記非目的キャリアを保持する前記非目的キャリア保持部となる第 1 導電形のキャリア保持領域と、素子形成層の主表面のうちキャリア保持領域に対応する部位において絶縁層を介して対向する電極であって前記外部信号に応じたタイミングでキャリア保持領域とウェル領域との間で非目的キャリアを移動させる制御電極と、素子形成層の主表面側においてウェル領域に隣接して形成され目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後に残留した目的キャリアが引き渡される電荷転送領域と、素子形成層の主表面のうちウェル領域と電荷転送領域との間の部位に絶縁層を介して対向するゲート電極とを有し、キャリア保持領域およびウェル領域を前記感光部に用い、前記再結合部は制御電極への外部信号によりキャリア保持領域からウェル領域に移動させた非目的キャリアをウェル領域に保持された目的キャリアと再結合させる構成であって、前記キャリア数調節部はキャリア保持領域と制御電極とからなり、前記出力部はゲート電極と電荷転送領域とにより構成されて成ることを特徴とする請求項 2 記載の光検出素子。

【請求項 6】

少なくとも前記ウェル領域に前記絶縁層を介して対向する表面電極と、前記素子形成層の主表面側においてウェル領域に隣接して形成されウェル領域から目的キャリアを廃棄することができる第 2 導電形のドレイン領域と、ドレイン領域にオーミックに接続されウェル領域からドレイン領域に目的キャリアが廃棄されるように電圧が印加されるドレイン電極とを備え、表面電極には前記点灯期間において前記ウェル領域の非目的キャリアに対するポテンシャル障壁を高めて前記キャリア保持領域への非目的キャリアの蓄積を防止する電圧が印加され、ドレイン電極には前記消灯期間においてウェル領域に保持された目的キ

キャリアを廃棄させるよう電圧が印加されることを特徴とする請求項５記載の光検出素子。

【請求項７】

半導体基板の主表面に形成された第１導電形の素子形成層と、素子形成層の主表面側に設けられ前記目的キャリアを保持する目的キャリア保持部となる第２導電形のウェル領域と、ウェル領域内でウェル領域の主表面側に設けられ前記非目的キャリアを保持する前記非目的キャリア保持部となる第１導電形のキャリア保持領域と、素子形成層の主表面のうちキャリア保持領域の一部に対応する部位において絶縁層を介して対向する電極であって前記外部信号に応じたタイミングでキャリア保持領域とウェル領域との間で目的キャリアを移動させるとともにキャリア保持領域内で非目的キャリアを移動させる制御電極と、素子形成層の主表面側においてウェル領域に隣接して形成され目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後に残留した目的キャリアが引き渡される電荷転送領域と、素子形成層の主表面のうちウェル領域と電荷転送領域との間の部位に絶縁層を介して対向するゲート電極とを有し、キャリア保持領域およびウェル領域を前記感光部に用い、前記再結合部は制御電極への外部信号によりウェル領域からキャリア保持領域に移動させた目的キャリアをキャリア保持領域に保持された非目的キャリアと再結合させる構成であって、前記キャリア数調節部はキャリア保持領域と制御電極とからなり、前記出力部はゲート電極と電荷転送領域とにより構成されて成ることを特徴とする請求項２記載の光検出素子。

【請求項８】

前記ウェル領域は前記素子形成層において前記半導体基板に達しない深さであって、ウェル領域の底にはウェル領域と素子形成層との間のポテンシャル障壁を高くする埋込層が形成されていることを特徴とする請求項５ないし請求項７のいずれか１項に記載の光検出素子。

【請求項９】

請求項５ないし請求項８のいずれか１項に記載の光検出素子を制御する方法であって、前記消灯期間および前記点灯期間において前記目的キャリア保持部に目的キャリアを保持し前記非目的キャリア保持部に非目的キャリアを保持する電位の電圧を外部信号として前記制御電極に印加した後、制御電極に印加する電圧の電位を変化させ目的キャリア保持部に保持されている目的キャリアと非目的キャリア保持部に保持されている非目的キャリアとの一方を移動させることにより目的キャリアと非目的キャリアとを再結合させ、次に、目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後に残留する目的キャリアを前記電荷転送領域に移動させる電圧を前記ゲート電極に印加することを特徴とする光検出素子の制御方法。

【請求項１０】

請求項７記載の光検出素子を制御する方法であって、前記制御電極に印加する電圧の電位を複数回変化させることにより、目的キャリアをウェル領域とキャリア保持領域との間で往復移動させるとともに、非目的キャリアをキャリア保持領域における制御電極との対向部位と非対向部位との間で往復移動させて目的キャリアと非目的キャリアとを再結合させ、次に、目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後にキャリア保持領域に残留する目的キャリアを前記電荷転送領域に移動させる電圧を前記ゲート電極に印加することを特徴とする光検出素子の制御方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光検出素子および光検出素子の制御方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、光検出素子および光検出素子の制御方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来から、フォトダイオード、フォトトランジスタ、CCDイメージセンサなど各種の光検出素子が知られており、これらの光検出素子は、対象物の有無を受光量の変化で検出する光電センサ、光を伝送媒体とする光通信、三角測量法や投受光の位相差などを用いて光学的に測距する距離センサ、ビデオカメラやデジタルカメラの撮像素子など各種用途に広く利用されている。

【0003】

ところで、これらの用途のうち光源とともに光検出素子を使用する用途であって、自然光のような外光が入射する環境で用いる場合には（侵入者を監視する光電センサ、光リモコン装置のような光通信、自動焦点カメラやロボットアイに用いる距離センサ、距離画像を得るために光源とともに用いる撮像素子など）、光検出素子に対して光源から放射された光のほかに外光も併せて入射するから、光源から放射された光のみを受光する場合に比較すると受光量が増加する。一方、この種の光検出素子では、受光量に応じた量のキャリア（電子あるいは正孔）が素子の内部で生成されるものの、受光量に対するキャリアの生成数には限界があり、受光量が増加すればキャリアの生成数は次第に飽和する。したがって、上述のような用途において目的とする情報を含んだ信号光を外光とともに光検出素子で受光すると、外光の光量分だけ光検出素子のダイナミックレンジが低減し、信号光に対して大きな出力を得ることができないという問題が生じる。

【0004】

また、信号光と外光とが混在していると、外光に変動がある場合に外光と信号光とを区別することができない可能性もある。外光と信号光とを区別する技術としては信号光に用いる特定波長のみを通過させる光学フィルタを用いることが考えられているが、太陽光のように広範囲に亘るスペクトル成分を有した外光では、光学フィルタを通して外光の影響を十分に除去することはできない。

【0005】

信号光と外光とを分離する技術としては、光検出素子の出力から外光に対応する成分と信号光に対応する成分とを分離することが考えられている。すなわち、信号光が得られない期間であって光源から光が放射されていない消灯期間における光検出素子の出力を外光のみに対応する成分とし、信号光が得られる期間であって光源から光が放射される点灯期間における光検出素子の出力を外光と信号光とを重ね合わせた成分として、点灯期間における光検出素子の出力から消灯期間における光検出素子の出力を減算することにより、信号光のみに対応した成分を抽出する構成が考えられている（たとえば、特許文献1参照）。

【0006】

上述した構成によれば、光検出素子の出力のうち、信号光に対応する成分と外光に対応する成分とを含む点灯期間の出力から、外光に対応する成分のみを含む消灯期間の出力を減算するから、外光に対応する成分を抑圧して信号光に対応する成分の割合を大幅に増加させることが可能になる。

【特許文献1】 特開2001-337166号公報（第0029-0035段落）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、上述した特許文献1に記載の技術は、光検出素子の出力について信号光に対応する成分と外光に対応する成分とを分離するものであるから、光検出素子が飽和したと

きには、信号光に対応する成分を抽出することができなくなるという問題がある。すなわち、外光の存在下では信号光に対する光検出素子のダイナミックレンジが小さくなり、信号光に対して大きな出力を得ることができないという問題は特許文献1に記載された技術を用いても依然として解決されない。

【0008】

さらに詳しく説明する。一般に、光検出素子の検出精度の限界は光電変換に伴うショットノイズで決定されるから、ショットノイズの影響を低減するために、光により生成されるキャリアの個数を増やす必要がある。光検出素子で生成されるキャリアの個数は、光検出素子が飽和しない範囲では、受光光量が多く受光時間が長いほど多くなるから、光源からの放射光量を増加させるか、光検出素子の受光時間を長くすることによって、ショットノイズの影響を低減することができる。しかしながら、上述のように外光の存在下では、光検出素子のダイナミックレンジが低下するから、光源の放射光量を増加させたり光検出素子の受光時間を長くしても、S/N比を十分に大きくとることはできない。

【0009】

また、特許文献1においては光検出素子としてCCDセンサまたはMOS型センサからなる撮像素子を用いており、外光のみを受光する消灯期間における撮像素子の出力と、外光と信号光とを合わせて受光する点灯期間における撮像素子の出力との差分を求め、信号光に対応する成分のみを求めるものであって、消灯期間と点灯期間とについてそれぞれ撮像素子から一旦出力を取り出さなければならず、撮像素子の出力を少なくとも2回読み出すことが必要になる。つまり、結果が得られるまでに2画面分(2フレーム分)の読出時間を要することになり、それだけ応答速度が低下するという問題が生じる。

【0010】

本発明は上記事由に鑑みて為されたものであり、その目的は、別途に回路を設けることなく外光による飽和を防止して信号光に対応する成分を抽出することができるようにし、信号光に対するダイナミックレンジを向上させることができ、また多数個を配列して撮像素子を構成する場合であっても応答速度の低下がない光検出素子および光検出素子の制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

請求項1の発明は、別に設けた光源から放射された光を受光可能であって受光量に応じた個数の正孔および電子を生成する感光部と、感光部で生成された正孔と電子との一方を目的キャリアとし他方を非目的キャリアとして光源の点灯期間に感光部で生成された目的キャリアと光源の消灯期間に感光部で生成された非目的キャリアとを外部信号により制御されるタイミングで再結合させる再結合物部と、再結合物部の時点において点灯期間に生成された目的キャリアの個数が消灯期間に生成された非目的キャリアの個数よりも多くなっているように調節するキャリア数調節部と、再結合物部において再結合させた後に残留した目的キャリアを外部に取り出す出力部とを1つの半導体装置として構成して成ることを特徴とする。

【0012】

この構成によれば、少なくとも光源の点灯期間に感光部で生成された目的キャリアと光源の消灯期間に感光部で生成された非目的キャリアとが再結合物部で再結合され、かつ再結合物部の時点において目的キャリアの個数が非目的キャリアの個数よりも多くなっているように調節しているから、再結合物部において目的キャリアと非目的キャリアとを再結合させたときに目的キャリアのみが残留し、しかも感光部で受光した光成分に対応する目的キャリアから外光成分に相当する目的キャリアを除去することができ、再結合後に残留する目的キャリアをほぼ光源から放射された光に対応する成分だけにすることが可能になる。その結果、再結合物部から出力部に引き渡される目的キャリアに外光成分に相当する目的キャリアが含まないようにして、外光成分による出力部の飽和を防止することが可能になる。しかも、1つの半導体装置において上述の機能を実現するから、半導体装置から外部に取り出した信号に対して外光成分を除去する場合に比較すると、半導体装置自体の飽和が

生じないことによって、光源からの光（信号光）に対するダイナミックレンジを大幅に向上させることができる。また、再結合部を設けて点灯期間に得られた目的キャリアのみを出力部から取り出すようにしているから、多数個を配列して撮像素子を構成する場合に、撮像素子から2画面分を読み出すことなく目的キャリアのみを外部に取り出すことができ、応答速度の低下がない光検出素子を提供することができる。

【0013】

請求項2の発明では、請求項1の発明において、前記キャリア数調節部は、前記感光部で生成された目的キャリアを保持する目的キャリア保持部と、前記感光部で生成された非目的キャリアを保持する非目的キャリア保持部と、感光部で生成され目的キャリア保持部に保持される目的キャリアの個数が感光部で生成され非目的キャリア保持部に保持される非目的キャリアの個数よりも多くなるように目的キャリアと非目的キャリアとを振り分けるキャリア弁別部とを備え、前記再結合部は、目的キャリア保持部に保持された目的キャリアと非目的キャリア保持部に保持された非目的キャリアとを再結合させることを特徴とする。

【0014】

この構成によれば、目的キャリアと非目的キャリアとをそれぞれ目的キャリア保持部と非目的キャリア保持部とに保持させ、目的キャリア保持部に保持された目的キャリアと非目的キャリア保持部に保持された非目的キャリアとを再結合部において外部信号で制御されるタイミングで再結合させるから、目的キャリアと非目的キャリアとを再結合のタイミングまで各別に分離して保持しておくことができ、点灯期間と消灯期間との一方において目的キャリアおよび非目的キャリアが生成されている期間には、点灯期間と消灯期間との他方において生成された目的キャリアおよび非目的キャリアを再結合しないように保持しておくことができる。しかも、感光部で生成され目的キャリア保持部に保持される目的キャリアの個数と感光部で生成され非目的キャリア保持部に保持される非目的キャリアの個数との関係をキャリア弁別部で調節するから、再結合部での再結合により残留する目的キャリアから消灯期間に生じた外光成分を除去することが可能になる。

【0015】

請求項3の発明では、請求項2の発明において、前記キャリア弁別部は、前記消灯期間において前記目的キャリア保持部に保持された目的キャリアを前記点灯期間の前に廃棄させるスイッチ要素を備えることを特徴とする。

【0016】

この構成によれば、消灯期間において生成された目的キャリアを廃棄するから、消灯期間には非目的キャリアのみが保持されることになり、再結合部において再結合する際の目的キャリアと非目的キャリアとの個数の差を大きくすることができる。その結果、消灯期間と点灯期間とを比較的短くしながらも、再結合後において比較的多くの目的キャリアを取り出すことが可能になり、感度を高めることができる。また、消灯期間に保持された目的キャリアをスイッチ要素を介して廃棄しているから、外光のみで生じた目的キャリアを廃棄することで、再結合後に残る目的キャリアへの外光の影響を小さくすることができる。

【0017】

請求項4の発明では、請求項1ないし請求項3の発明において、前記出力部は、前記再結合部での再結合により残留した目的キャリアを積分する積分機能を有することを特徴とする。

【0018】

この構成によれば、1回の消灯期間と1回の点灯期間とに対応して再結合部から取り出される目的キャリアの個数が少ない場合でも、出力部において目的キャリアを積分することによって、出力する目的キャリアの個数を比較的大きくすることが可能になる。

【0019】

請求項5の発明は、請求項2の発明において、半導体基板の主表面に形成された第1導電形の素子形成層と、素子形成層の主表面側に設けられ前記目的キャリアを保持する目的

キャリア保持部となる第2導電形のウェル領域と、ウェル領域内でウェル領域の主表面側に設けられ前記非目的キャリアを保持する前記非目的キャリア保持部となる第1導電形のキャリア保持領域と、素子形成層の主表面のうち第1のキャリア保持領域に対応する部位において絶縁層を介して対向する電極であって前記外部信号に応じたタイミングでキャリア保持領域とウェル領域との間で非目的キャリアを移動させる制御電極と、素子形成層の主表面側においてウェル領域に隣接して形成され目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後に残留した目的キャリアが引き渡される電荷転送領域と、素子形成層の主表面のうちウェル領域と電荷転送領域との間の部位に絶縁層を介して対向するゲート電極とを有し、キャリア保持領域およびウェル領域を前記感光部に用い、前記再結合部は制御電極への外部信号によりキャリア保持領域からウェル領域に移動させた非目的キャリアをウェル領域に保持された目的キャリアと再結合させる構成であって、前記キャリア数調節部はキャリア保持領域と制御電極とからなり、前記出力部はゲート電極と電荷転送領域とにより構成されて成ることを特徴とする。

【0020】

この構成によれば、比較的簡単な構造の半導体装置を用いて請求項2の構成を実現することができる。とくに、第2のキャリア保持領域が再結合部として兼用されているから小型化につながる。

【0021】

請求項6の発明は、請求項5の発明において、少なくとも前記ウェル領域に前記絶縁層を介して対向する表面電極と、前記素子形成層の主表面側においてウェル領域に隣接して形成されウェル領域から目的キャリアを廃棄することができる第2導電形のドレイン領域と、ドレイン領域にオーミックに接続されウェル領域からドレイン領域に目的キャリアが廃棄されるように電圧が印加されるドレイン電極とを備え、表面電極には前記点灯期間において前記ウェル領域の非目的キャリアに対するポテンシャル障壁を高めて前記キャリア保持領域への非目的キャリアの蓄積を防止する電圧が印加され、ドレイン電極には前記消灯期間においてウェル領域に保持された目的キャリアを廃棄させるよう電圧が印加されることを特徴とする。

【0022】

この構成によれば、非目的キャリア保持部には消灯期間に生じた非目的キャリアのみを保持させ、ウェル領域には点灯期間に生じた目的キャリアのみを保持させることができるから、感光部において発生する目的キャリアと非目的キャリアとの個数比を1:1としたときに、目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後には目的キャリアから外光に対応する成分が除去され、光源の点灯による信号光に対応する目的キャリアのみを残留させることができる。

【0023】

請求項7の発明は、請求項2の発明において、半導体基板の主表面に形成された第1導電形の素子形成層と、素子形成層の主表面側に設けられ前記目的キャリアを保持する目的キャリア保持部となる第2導電形のウェル領域と、ウェル領域内でウェル領域の主表面側に設けられ前記非目的キャリアを保持する前記非目的キャリア保持部となる第1導電形のキャリア保持領域と、素子形成層の主表面のうちキャリア保持領域の一部に対応する部位において絶縁層を介して対向する電極であって前記外部信号に応じたタイミングでキャリア保持領域とウェル領域との間で目的キャリアを移動させるとともにキャリア保持領域内で非目的キャリアを移動させる制御電極と、素子形成層の主表面側においてウェル領域に隣接して形成され目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後に残留した目的キャリアが引き渡される電荷転送領域と、素子形成層の主表面のうちウェル領域と電荷転送領域との間の部位に絶縁層を介して対向するゲート電極とを有し、キャリア保持領域およびウェル領域を前記感光部に用い、前記再結合部は制御電極への外部信号によりウェル領域からキャリア保持領域に移動させた目的キャリアをキャリア保持領域に保持された非目的キャリアと再結合させる構成であって、前記キャリア数調節部はキャリア保持領域と制御電極とからなり、前記出力部はゲート電極と電荷転送領域とにより構成されて成ることを特徴と

する。

【0024】

この構成によれば、比較的簡単な構造の半導体装置を用いて請求項2の構成を実現することができる。とくに、キャリア保持領域が再結合部として兼用されているから小型化につながる。

【0025】

請求項8の発明では、請求項5ないし請求項7の発明において、前記ウェル領域は前記素子形成層において前記半導体基板に達しない深さであって、ウェル領域の底にはウェル領域と素子形成層との間のポテンシャル障壁を高くする埋込層が形成されていることを特徴とする。

【0026】

この構成によれば、ウェル領域の底に埋込層を設けていることによってウェル領域から基板に目的キャリアが漏れるのを防止することができ、埋込層を設けない場合に比較すると電荷転送領域に引き渡される目的キャリアの個数が多くなる。

【0027】

請求項9の発明は、請求項5ないし請求項8のいずれか1項に記載の光検出素子を制御する方法であって、前記消灯期間および前記点灯期間において前記目的キャリア保持部に目的キャリアを保持し前記非目的キャリア保持部に非目的キャリアを保持する電位の電圧を外部信号として前記制御電極に印加した後、制御電極に印加する電圧の電位を変化させ目的キャリア保持部に保持されている目的キャリアと非目的キャリア保持部に保持されている非目的キャリアとの一方を移動させることにより目的キャリアと非目的キャリアとを再結合させ、次に、目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後に残留する目的キャリアを前記電荷転送領域に移動させる電圧を前記ゲート電極に印加することを特徴とする。

【0028】

この方法によれば、制御電極とゲート電極とに電圧を印加するタイミングと印加電圧の電位を制御するだけで、外光に対応する成分を除去することができ、比較的簡単な制御によって信号光に対応する成分のみを抽出することが可能になる。

【0029】

請求項10の発明は、請求項7に記載の光検出素子を制御する方法であって、前記制御電極に印加する電圧の電位を複数回変化させることにより、目的キャリアをウェル領域とキャリア保持領域との間で往復移動させるとともに、非目的キャリアをキャリア保持領域における制御電極との対向部位と非対向部位との間で往復移動させて目的キャリアと非目的キャリアとを再結合させ、次に、目的キャリアと非目的キャリアとの再結合後にキャリア保持領域に残留する目的キャリアを前記電荷転送領域に移動させる電圧を前記ゲート電極に印加することを特徴とする。

【0030】

この方法によれば、キャリア保持領域の中で非目的キャリアを往復移動させ、キャリア保持領域とウェル領域との間で目的キャリアを往復移動させるのであって、キャリア保持領域において制御電極に対向する部位において目的キャリアと非目的キャリアとの再結合がなされる。ここに、キャリア保持領域の界面電位でトラップされている非目的キャリアが目的キャリアと再結合するのであって、目的キャリアをキャリア保持領域に1回だけ導入してもすべての非目的キャリアを消滅させることができないから、目的キャリアおよび非目的キャリアの移動を複数回繰り返している。また、制御電極に電圧を印加するタイミングと印加電圧の電位を制御する比較的簡単な電圧制御によって信号光に対応する成分を抽出することができる上に、キャリア保持領域とウェル領域との間で目的キャリアが往復移動するだけであるから、外部に電流が流れることがなく低消費電力になる。

【発明の効果】

【0031】

本発明の光検出素子は、少なくとも光源の点灯期間に感光部で生成された目的キャリアと光源の消灯期間に感光部で生成された非目的キャリアとが再結合部で再結合され、かつ

再結合前の時点において目的キャリアの個数が非目的キャリアの個数よりも多くなっているように調節しているから、再結合部において目的キャリアと非目的キャリアとを再結合させたときに目的キャリアのみが残留し、しかも感光部で受光した光成分に対応する目的キャリアから外光成分に相当する目的キャリアを除去することができ、再結合後に残留する目的キャリアをほぼ光源から放射された光に対応する成分だけにすることが可能になる。その結果、再結合部から出力部に引き渡される目的キャリアに外光成分に相当する目的キャリアが含まれないようにして、外光成分による出力部の飽和を防止することが可能になるという利点がある。しかも、1つの半導体装置において上述の機能を実現するから、半導体装置から外部に取り出した信号に対して外光成分を除去する場合に比較すると、半導体装置自体の飽和が生じないことによって、光源からの光（信号光）に対するダイナミックレンジを大幅に向上させることができるという利点がある。また、再結合部を設けて点灯期間に得られた目的キャリアのみを出力部から取り出すようにしているから、多数個を配列して撮像素子を構成する場合に、撮像素子から2画面分を読み出すことなく目的キャリアのみを外部に取り出すことができ、応答速度の低下がない光検出素子を提供することができるという利点がある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

（実施形態1）

以下に本実施形態の原理を図1に示す原理図に基づいて説明する。図1は測距に用いる場合を想定して記載しており、距離を測定する対象物3に光源2からの光を照射し、対象物3からの反射光を光検出素子1により受光するとともに、光検出素子1から受光量を反映する出力を得るようにしてある。この構成で測距を行う技術としては、光源2から対象物3に投光する光の強度を変調しておき、光検出素子1で受光した光と光源2から投光した光との強度変化に関する位相差を求め、位相差を距離に換算する技術が知られている。光源2から出射する光の強度変調はタイミング制御部10で行っている。本実施形態では光源2を点灯させる期間（点灯期間）と消灯させる期間（消灯期間）とを交互に設けるように光を強度変調しているものとする。つまり、光源2は間欠的に発光する。

【0033】

光検出素子1は、半導体装置であって、光励起によって電子および正孔を生成する感光部11を備える。本実施形態で用いる感光部11は、半導体の主表面に薄い絶縁層24を介して表面電極25を設けたMISデバイスであり（図3参照）、表面電極25に適宜の電圧を印加しポテンシャル井戸を形成し、半導体に光を照射することにより生成されるキャリア（電子または正孔）をポテンシャル井戸に溜めるものである。また、感光部11の一部にはp-n接合の光吸収によりキャリアを生成する構造も含まれる。すなわち、感光部11はMISデバイスとフォトダイオードとの構造を併せ持っている。感光部11での電子および正孔の生成量は受光量を反映しており、受光量が多くなると電子および正孔の発生量も増加する。以下では、感光部11において生成される電子および正孔のうち電子を目的キャリアとして扱い、正孔を非目的キャリアとして扱う。光検出素子1の出力値は目的キャリアである電子の個数に対応する。

【0034】

感光部11で生成されたキャリア（電子および正孔）はキャリア弁別部12において個数比が調節され、それぞれ正孔保持部（本実施形態では、非目的キャリア保持部に相当する）13と電子保持部（本実施形態では、目的キャリア保持部に相当する）14とに保持される。キャリア弁別部12は、正孔保持部13に保持する正孔の個数と、電子保持部14に保持する電子の個数との比を決める機能を有し、たとえば、非目的キャリアである正孔と目的キャリアである電子との個数比が1対2などになるように調節する。すなわち、キャリア弁別部12では、ポテンシャル障壁やポテンシャル井戸あるいは電子と正孔との再結合や廃棄などを利用して感光部11で生成されたキャリアを選別し、電子保持部14に保持する電子の個数を正孔保持部13に保持する正孔の個数よりも多くする。また、キャリア弁別部12として、感光部11から正孔保持部13および電子保持部14にキャリ

アを保持する時間を制御可能にする構成を採用してもよい。このような構成は、感光部 11 から正孔保持部 13 および電子保持部 14 にキャリアを転送する経路にゲートを設ける構成などによって実現される。

【0035】

本実施形態では、光源 2 から対象物 3 に光を照射する点灯期間と、光源 2 から対象物 3 に光を照射しない消灯期間とを設けてある。消灯期間において感光部 11 が受光する光は自然光のような外光のみであって光源 2 からの信号光は含まれていない。一方、点灯期間において感光部 11 が受光する光は、光源 2 から放射され対象物 3 で反射された光と外光との両方を含むから、消灯期間と点灯期間とにおいて外光により生成される目的キャリアを除去すれば、光源 2 からの信号光に対応する目的キャリアのみを抽出することが可能になる。

【0036】

そこで、消灯期間に生成された非目的キャリアと点灯期間に生成された目的キャリアの一部とを再結合させることにより相殺し、点灯期間に生成された目的キャリアのうち信号光に対応する成分のみを抽出する構成を採用している。すなわち、点灯期間と消灯期間とのいずれにおいても、正孔保持部 13 に保持される非目的キャリア（正孔）の個数を電子保持部 14 に保持される目的キャリア（電子）の個数よりも少なくするキャリア弁別部 12 を設け、さらに、消灯期間および点灯期間を通して正孔保持部 13 に保持した非目的キャリア（正孔）と、点灯期間のみにおいて電子保持部 14 に保持した目的キャリア（電子）とを再結合部 15 において再結合させる構成を採用している。ここに、電子を目的キャリアにしており再結合部 15 からは電子を取り出す必要があるから、再結合前において電子保持部 14 に保持されている電子数を、正孔保持部 13 に保持されている正孔数より多くする必要がある。再結合前の電子数と正孔数との調節は、キャリア弁別部 12 と正孔保持部 13 と電子保持部 14 とのほか、後述するスイッチ要素 17 および廃棄部 18 によっても行う。再結合部 15 での再結合後に残された電子は出力部 16 を通して目的キャリアとして外部に取り出される。

【0037】

上述したように、目的キャリアである電子のうち点灯期間において電子保持部 14 に保持されたものだけを利用し、消灯期間に生成された電子を利用しないようにするために、本実施形態では、消灯期間に生成される電子と点灯期間において生成される電子とを混合せずに点灯期間のもののみを取り出している。すなわち、電子保持部 14 にはスイッチ要素 17 を介して廃棄部 18 が接続され、スイッチ要素 17 は、消灯期間において電子保持部 14 に保持された電子を廃棄部 18 に廃棄し、点灯期間においては廃棄部 18 に電子を廃棄しないようにタイミング制御部 10 によりオンオフが制御される。

【0038】

具体的には、光源 2 を発光させない消灯期間から光源 2 を発光させる点灯期間に移行するタイミングにおいてスイッチ要素 17 をオンにして電子保持部 14 から電子を廃棄し、点灯期間においてはスイッチ要素 17 をオフにして電子保持部 14 に電子を保持する。このような動作により、消灯期間において電子保持部 14 に保持された電子は点灯期間への移行時点まで（望ましくは直前）に廃棄され、消灯期間に保持された電子と点灯期間に保持される電子とが混合されることが防止される。なお、点灯期間から消灯期間に移行する際には、点灯期間に保持された電子と消灯期間において保持される電子とは混合されてもよいから、スイッチ要素 17 はオフに保っていてもよい。

【0039】

上述の動作から明らかなように、キャリア弁別部 12 と正孔蓄積部 13 と電子蓄積部 14 とスイッチ要素 17 とを用いることにより、光源 2 の点灯期間に感光部 11 で生成された目的キャリアが、感光部 11 で生成された非目的キャリアのうち光源 2 の消灯期間に感光部 11 で生成される目的キャリアの個数分以上の非目的キャリアと再結合部 15 で再結合され、かつ再結合される目的キャリアの個数が非目的キャリアの個数よりも多くなるように再結合部 15 に与える目的キャリアと非目的キャリアとの個数を調節することができ

る。すなわち、キャリア弁別部 1 2 と正孔蓄積部 1 3 と電子蓄積部 1 4 とスイッチ要素 1 7 とはキャリア数調節部として機能する。

【0040】

ところで、再結合部 1 5 において信号光に対応する目的キャリアを取り出すには、消灯期間と点灯期間とにおいて外光は実質的に変動しないという仮定が必要であって、この仮定を満たすために消灯期間と点灯期間とは外光に変化が生じない程度の時間内で切り換えることが要求される。もっとも、再結合部 1 5 において再結合させる目的キャリアと非目的キャリアとを生成するための 1 回の消灯期間および点灯期間が外光に実質的な変化が生じない時間内であればよいから、消灯期間と点灯期間とを交互に複数回繰り返すとともに目的キャリアを出力部 1 6 において蓄積（積分）することで出力部 1 6 から取り出す目的キャリアの個数を増やすようにするのが望ましい。

【0041】

また、再結合部 1 5 で目的キャリアと非目的キャリアとを再結合させた後に目的キャリアを取り出せるようにするには、上述のように、再結合前において電子保持部 1 4 に保持されている電子数が、正孔保持部 1 3 に保持されている正孔数より多いことが必要であって、この条件を満足させるには、キャリア弁別部 1 2 において目的キャリアを非目的キャリアよりも多く残すことが必要であり、また再結合部 1 5 から取り出される目的キャリアから外光に対応する成分を除去するには消灯期間と点灯期間との比率を、キャリア弁別部 1 2 が保持させる目的キャリアと非目的キャリアとの個数の比率と関連付けるのが望ましい。

【0042】

以下に、これらの条件について検討する。いま、消灯期間を t_1 、点灯期間を t_2 、信号光の強度を I_a 、外光の強度を I_b 、キャリア弁別部 1 2 から取り出される非目的キャリアの個数が目的キャリアの個数の k 倍、キャリア弁別部 1 2 が単位光量に対して単位時間に出る目的キャリアの個数が α であるとすれば、再結合部 1 5 から取り出される電子数 N は、以下のように表すことができる。

$$N = \alpha \cdot (I_a + I_b) \cdot t_2 - k\alpha \{ I_b \cdot t_1 + (I_a + I_b) \cdot t_2 \}$$

電子数 N は正でなければならないという条件から、 $k < 1$ が得られる。つまり、上述したように、キャリア弁別部 1 2 から単位光量に対して単位時間に取り出される非目的キャリア（正孔）の個数は、目的キャリア（正孔）の個数 α の k 倍であるから、目的キャリアの個数のほうが非目的キャリアの個数よりも多くなる。

【0043】

また、上式を信号光の強度 I_a と外光の強度 I_b との項に整理し、外光の強度 I_b を 0 にする条件を求めると、 $t_1 = \{ (1 - k) / k \} t_2$ であって、キャリア弁別部 1 2 から取り出される目的キャリアに対する非目的キャリアの個数比 k に応じて消灯期間 t_1 と点灯期間 t_2 との比を調節すれば、外光に対応する成分を除去して信号光に対応する成分のみを抽出することが可能になる。たとえば、消灯期間 t_1 と点灯期間 t_2 とを 1 : 1 に設定するのであれば、 $k = 0.5$ であって、キャリア弁別部 1 2 において電子（目的キャリア）の個数を正孔（非目的キャリア）の個数の 2 倍に設定すれば、外光に対応する成分を除去して信号光に対応する成分のみを抽出することが可能になる。すなわち、この条件では、図 2 に示すように、点灯期間 t_2 における外光で生じた電子 $E(t_{21})$ の個数が、消灯期間 t_1 における外光で生じた正孔 $H(t_1)$ の個数と点灯期間における外光で生じた正孔 $H(t_{21})$ の個数との合計に一致するから、再結合により両者が相殺され、また、点灯期間 t_2 における信号光で生じた電子 $E(t_{22})$ の個数は、点灯期間における信号光で生じた正孔 $H(t_{22})$ の個数の 2 倍になるから、再結合後には、点灯期間 t_2 における信号光で生じた電子 $E(t_{22})$ の半分の個数の電子のみが残ることになる。その結果、再結合後には目的キャリアである電子のうち信号光に対応する成分のみが残ることになる。

【0044】

上述した感光部 1 1、キャリア弁別部 1 2、正孔保持部 1 3、電子保持部 1 4、再結合

部15、出力部16、スイッチ要素17、廃棄部18は、半導体により形成される光検出素子1により実現される。以下では、これらの機能を有する光検出素子1の構造と動作とを説明する。

【0045】

本実施形態において用いる光検出素子1は、上述のように電子を目的キャリアとして取り出すものであって、図3に示すように、n形（第1導電形）の半導体（たとえば、シリコン）からなる基板21の主表面に、p形（第2導電形）の素子形成層22を積層してある。素子形成層22は、基板21に接触する第1層22aと、第1層22aを介して基板21に対向する第2層22bとからなり、第1層22aの一部には第2層22bに接する部位にn形の埋込層23が形成される。また、第1層22aの厚み寸法は、たとえば5 μ mに設定される。基板21の電位は接地電位よりも高い一定電位に保たれ、素子形成層22の電位は接地電位に保たれる。素子形成層22の主表面には酸化層（たとえば、シリコン酸化層）である絶縁層24を介して表面電極25が設けられる。絶縁層24には素子形成層22の主表面から離間した制御電極26およびゲート電極27が素子形成層22の表面に沿った異なる部位に埋め込まれる。表面電極25および制御電極26は光が透過可能になっている。

【0046】

素子形成層22の第2層22bには埋込層23に対応する部位において、ウェル領域31が形成される。本実施形態では、ウェル領域31の中に、素子形成層22の第2層22bと厚みがほぼ等しいn⁻形の領域と、素子形成層22の主表面側であってn⁻形の領域に周囲を囲まれたn形の領域とを形成しており、ウェル領域31において主としてn形の領域で電子を保持するようにしてある。このように、ウェル領域31のうちでn形の領域は電子の保持に用いるから、以下ではウェル領域31の一部であるn形の領域を電子保持領域32と呼ぶ。さらに第2層22bの主表面側であって電子保持領域32に全周を囲まれる部位には正孔保持部13として機能するp⁺形の正孔保持領域33が形成される。上述した制御電極26は正孔保持領域33に対向する形で配置される。ウェル領域31および正孔保持領域33に対応する領域には光を照射可能であって、光が照射されると、基板21、素子形成層22、埋込層23、ウェル領域31（電子保持領域32を含む）、正孔保持領域33において光励起による電子および正孔が生成される。ただし、これらの電子や正孔は放置すれば比較的短時間で再結合して消滅するから、受光量に対応したキャリアを残すために、表面電極25には正電圧を印加し、制御電極26には負電圧を印加しておく。各部の電位をこのように設定することによって、電子（黒丸）と正孔（白丸）とに対するポテンシャルは図4（b）のようになる。図4（b）において左側の曲線は正孔のポテンシャルエネルギーを示し、右側の曲線は電子のポテンシャルエネルギーを示す。したがって、正孔は左側ほどポテンシャルが高く、電子は右側ほどポテンシャルが高くなる。つまり、ウェル領域31と正孔保持領域33との近傍において生成される正孔は正孔保持領域33に保持され、ウェル領域31と正孔保持領域33との近傍で生成される電子は電子保持領域32に保持される。また、基板21および第1層22aで生成される電子および正孔は、基板21が接地電位よりも高い電位であり、素子形成層22が接地電位であるから、再結合によって短時間で消滅する。

【0047】

上述した動作の結果、図4（a）に示すように、電子保持領域32に保持される電子の個数を正孔保持領域33に保持される正孔の個数よりも多くすることができる。つまり、電子および正孔に対するポテンシャル障壁の高さおよびポテンシャル井戸の深さを素子の構造や制御電極26への印加電圧により制御し、また電子と正孔との再結合や廃棄を行うことによって、電子保持領域32に保持される電子の個数と正孔保持領域33に保持される正孔の個数とに差を与えることが可能になる。素子構造は設計条件で決定され、基板21や素子形成層22の電位は一定電位に保たれるから、電子保持領域32に保持する電子と正孔保持領域33に保持する正孔との個数を調節する手段は、実際には制御電極26であり、制御電極26がキャリア弁別部12として機能することになる。また、電子保持領

域 3 2 に保持される電子および正孔保持領域 3 3 に保持される正孔の大部分は、ウェル領域 3 1 と正孔保持領域 3 3 とにおいて生成されるものであるから、ウェル領域 3 1 と正孔保持領域 3 3 とが感光部 1 1 として機能する。

【0048】

上述した動作は、光源 2 から対象物 3 に光を照射する点灯期間と光を照射しない消灯期間とのいずれにおいても行われる共通の動作である。消灯期間において電子保持領域 3 2 に保持された電子は廃棄部 1 8 に廃棄することによって、点灯期間において電子保持領域 3 2 に保持される電子との混合を防止している。つまり、消灯期間に保持された目的キャリアをスイッチ要素 1 7 を介して廃棄部 1 8 に廃棄しているから、外光のみで生じた目的キャリアは廃棄され、再結合後に残る目的キャリアへの外光の影響を小さくすることができる。

【0049】

廃棄部 1 8 を設けた効果をさらに詳しく検証する。いま、信号光の強度を I_a 、外光の強度を I_b とし、さらに、電子保持領域 3 2 に保持された目的キャリア（電子）の電荷量を Q_a とし、正孔保持領域 3 3 に保持された非目的キャリア（正孔）の電荷量を Q_b とするときに、 $Q_a = A \cdot Q_b$ (A は比例定数) の関係が満たされるものとする。ここに、 $Q_a = \beta \cdot I_a$ 、 $Q_b = \beta \cdot I_b$ (β は比例定数) とする。また、消灯期間と点灯期間との長さが等しく、着目する消灯期間と点灯期間とにおいて外光の強度は変化しないものとする。

【0050】

廃棄部 1 8 を設けない場合には、消灯期間に保持される目的キャリアと非目的キャリアとの電荷量は、それぞれ $A \cdot \beta \cdot I_b$ 、 $\beta \cdot I_b$ であり、点灯期間に保持される目的キャリアと非目的キャリアとの電荷量は、それぞれ $A \cdot \beta (I_a + I_b)$ 、 $\beta (I_a + I_b)$ であるから、再結合後に残留する目的キャリアの電荷量は、 $A \cdot \beta (I_a + 2 I_b) - \beta (I_a + 2 I_b)$ になる。強度 I_a 、 I_b に着目して整理すると、 $\beta \{ (A - 1) I_a + (2A - 2) I_b \}$ になる。

【0051】

一方、廃棄部 1 8 を設ける場合には、点灯期間の開始直前において保持されているのは非目的キャリアのみであり、その電荷量は $\beta \cdot I_b$ であり、点灯期間に保持される目的キャリアと非目的キャリアとの電荷量は、それぞれ $A \cdot \beta (I_a + I_b)$ 、 $\beta (I_a + I_b)$ であるから、再結合後に残留する目的キャリアの電荷量は、 $A \cdot \beta (I_a + I_b) - \beta (I_a + 2 I_b)$ になる。強度 I_a 、 I_b に着目して整理すると、 $\beta \{ (A - 1) I_a + (A - 2) I_b \}$ になる。

【0052】

以上説明したように、廃棄部 1 8 を設けるほうが外光に対する係数が $A \cdot \beta$ だけ小さいから、廃棄部 1 8 を設けない場合よりも外光の影響を低減できることがわかる。なお、 $A = 2$ とすれば、廃棄部 1 8 を設けない場合には再結合後に残留する電荷量が $\beta (I_a + 2 I_b)$ になるのに対して、廃棄部 1 8 を設ける場合には再結合後に残留する電荷量が $\beta \cdot I_a$ になる。つまり、 $A = 2$ とする条件では、廃棄部 1 8 を設けることにより、外光の影響を受けない目的キャリアを取り出すことができる。ここに、 $A = 2$ は、消灯期間と点灯期間とを 1 : 1 とする場合において、上述したキャリア弁別部 1 2 での個数比 k が 0.5 である場合に相当する。

【0053】

スイッチ要素 1 7 および廃棄部 1 8 は、素子形成層 2 2 の主表面側であってウェル領域 3 1 の一側方に設けた n 形のドレイン領域 3 4 a および他側方に設けた n 形のドレイン領域 3 4 b と、各ドレイン領域 3 4 a、3 4 b の表面においてそれぞれオーミックに接続されたドレイン電極 3 5 a、3 5 b とを用いて構成されている。ドレイン領域 3 4 a、3 4 b は図 3 の面に直交する方向の一直線上に延長され、ドレイン領域 3 4 a はドレイン領域 3 4 b よりもウェル領域 3 1 に近接して設けられている。

【0054】

消灯期間において、電子保持領域32に電子が保持されるとともに正孔保持領域33に正孔が保持された状態で、図5のように、ドレイン電極35aに正電圧を印加すると、電子保持領域32に保持された電子（黒丸）はドレイン領域34aに移動する。つまり、消灯期間において表面電極25に正電圧を印加するとともに、制御電極26に負電圧を印加した状態を継続したままで、消灯期間から点灯期間に移行する際（点灯期間の直前）にドレイン電極35に正電圧を印加すると、消灯期間において生成された正孔を正孔保持領域33に残し、消灯期間において生成された電子をドレイン領域34aに移動させて電子保持領域32を空にすることができる。なお、表面電極25に負電圧を印加するとドレイン領域34aに電子を速やかに移動させることができる。上述のように、ドレイン電極35aに正電圧を印加するか否かに応じて電子がドレイン領域34aに移動するから、ドレイン電極35aがスイッチ要素17として機能する。

【0055】

点灯期間においては消灯期間と同様に、まず、電子保持領域32に電子を保持するとともに正孔保持領域33に正孔を保持した図4（a）の状態とする。このとき、正孔保持領域33には点灯期間において生成された正孔だけではなく消灯期間において生成された正孔も含まれ、一方、電子保持領域32には点灯期間において生成された電子のみが含まれる。この時点において、制御電極26には負電圧が印加されているから、図4に示したように、電子保持領域32は電子に対して低ポテンシャルであり、正孔保持領域33は正孔に対して低ポテンシャルであって、電子と正孔とは再結合することなく電子保持領域32と正孔保持領域33とに分かれて保持されているが、制御電極26に正電圧を印加すると、電子保持領域32と正孔保持領域33との間のポテンシャル差が小さくなり、正孔保持領域33から押し出された正孔がウェル領域31（主として、電子保持領域32）において電子と再結合することになる。つまり、制御電極26とウェル領域31とにより再結合部15が形成される。なお、再結合の条件は、電子および正孔のポテンシャルを制御する外部信号としての制御電極26への印加電圧だけではなく、電圧印加時間のほか、ウェル領域31、正孔保持領域33を形成する半導体の不純物のドーパ量も関与する。

【0056】

ここで、電子と正孔との個数比および消灯期間と点灯期間との時間比を上述した条件で設定しておけば、制御電極26に正電圧を印加した後は電子保持領域32において信号光に応じた電子が残り正孔保持領域33の正孔は消滅する。この電子を外に取り出せば、信号光に対応する電荷（信号電荷）を取り出すことになる。信号電荷を取り出す構造は、CCDなどにおいて電荷の取り出しに用いられている構造と同様の構造を採用している。すなわち、素子形成層22の主表面に沿ってウェル領域31とドレイン領域34bとの間にはドレイン領域34bに沿って延長されたn形の電荷転送領域36が形成され、ウェル領域31と電荷転送領域36とに跨る部位に対応して上述した絶縁層24にゲート電極27が設けられ、ウェル領域31と電荷転送領域36との間はMOS構造のゲート部を構成している。電子保持領域32に電子が保持された状態においてゲート電極27に正電圧を印加すれば、ウェル領域31と電荷転送領域36との間において素子形成層22にチャンネルが形成され、このチャンネルを通して電子保持領域32から電荷転送領域36に電子が移動する。電荷転送領域36に転送された電子はCCDなどにおいて周知の技術を用いて転送され、外部に取り出されることになる。なお、表面電極25の表面であって、ゲート電極27、電荷転送領域36、ドレイン領域34bに対応する部位には遮光膜37が形成される。

【0057】

以上説明したように、消灯期間と点灯期間とにおいて生成される正孔を点灯期間において生成される電子と再結合させることにより、点灯期間において生成した電子のみを取り出すことを可能としており、消灯期間と点灯期間とは外光が実質的に変動しない程度の短い時間に設定しているから、信号光に対応すると考えられる電子のみを取り出すことができる上に、短時間であるから電子および正孔が生成される個数も少なく、消灯期間と点灯期間とを1回ずつ設けた場合において電荷転送領域36に転送される電子の個数は、点灯

期間において外光に対応する成分を含む電子の個数に比較すると大幅に少なくなる。ここで、消灯期間と点灯期間とを1回ずつ設けただけでは電子の個数は少ないから、電荷転送領域36においては消灯期間と点灯期間との複数回分の電子を蓄積（積分）するのが望ましい。この動作により比較的大きい信号電荷を取り出すことが可能になる。

【0058】

上述の動作を簡単にまとめる。まず、光源からの光が入射せず外光のみが入射する消灯期間においては、表面電極25に正電圧を印加し、制御電極26に負電圧を印加する。光が入射すると、基板21、素子形成領域22、埋込層23、ウェル領域31、正孔保持領域33において光励起による電子および正孔が生成される。次に、消灯期間において、電子保持領域32に電子が保持されるとともに正孔保持領域33に正孔が保持された状態で、ドレイン電極35aに正電圧を印加すると、消灯期間において生成された正孔は正孔保持領域33に残り、消灯期間において生成された電子はドレイン領域34aに移動し電子保持領域32が空になる。

【0059】

次に、光源からの光が入射する点灯期間では、消灯期間と同様に、表面電極25に正電圧を印加し、制御電極26に負電圧を印加する。この場合も、光が入射すると、基板21、素子形成領域22、埋込層23、ウェル領域31、正孔保持領域33において光励起による電子および正孔が生成される。点灯期間においては、正孔保持領域33には点灯期間において生成された正孔だけではなく消灯期間において生成された正孔も含まれ、電子保持領域32には点灯期間において生成された電子のみが保持される。

【0060】

その後、制御電極26に正電圧を印加すると、電子保持領域32と正孔保持領域33との間のポテンシャル差が小さくなり、正孔保持領域33から電子保持領域32に正孔が移動し電子と再結合する。電子保持領域32に電子が保持された状態においてゲート電極27に正電圧を印加すれば、ウェル領域31と電荷転送領域36との間において素子形成層22に形成されるチャンネルを通して電子保持領域32から電荷転送領域36に電子が移動する。

【0061】

上述した消灯期間と点灯期間が1回ずつであると、目的キャリアとして電荷転送領域36に転送される電子の個数は比較的少なく、とくに外光の強度が高い場合には、電子保持領域32や正孔保持領域33が飽和しないように、光を照射する時間（消灯期間および点灯期間）を短くしなければならないから、再結合後に残留した電子数は少なくショットノイズの影響によってSN比が低下するおそれがある。そこで、消灯期間および点灯期間の後に再結合を行い、さらに電子を電荷転送領域36に転送し保持するという一連の動作を複数回繰り返すことによって、電荷転送領域36に複数回分の電子を保持するのが望ましい。このように、消灯期間および点灯期間と再結合と転送とを複数回繰り返して電子を電荷転送領域36に保持することで、外光により生じたキャリアをほぼ除去し、信号光に対応する目的キャリアだけを積分することが可能になる。つまり、入射する光の強度が大きく長時間の露光によって電子保持領域32や正孔保持領域33が飽和する可能性のあるときには、消灯期間および点灯期間の1回当たりの時間を短縮し、積分回数（繰り返し回数）を増やすことによって、ショットノイズの影響によるSN比の低下を防止することができる。

【0062】

なお、上述した表面電極25、制御電極26、ゲート電極27、ドレイン電極34b、ドレイン電極35bに電圧を印加するタイミングはタイミング制御回路10により制御される。

【0063】

本実施形態では、電子保持領域32の内側に形成した正孔保持領域33に対向する部位に制御電極26を設ける例を示したが、図6に示すように、電子保持領域32に対向する部位に制御電極26を設けてもよい。つまり、電子保持領域32の表面において正孔保持

領域 3 3 を囲むように制御電極 2 6 を配置する。この場合、電子保持領域 3 2 に電子を保持し、正孔保持領域 3 3 に正孔を保持する際には、制御電極 2 6 に正電位の電圧を印加し、電子と正孔とを再結合させる際には、制御電極 2 6 に負電位の電圧を印加する。

【0064】

また、再結合に際して電子保持領域 3 2 と正孔保持領域 3 3 との間のポテンシャル障壁を引き下げるために、制御電極 2 6 への印加電圧を制御する例を示したが、制御電極 2 6 への印加電圧を制御する代わりに基板 2 1 に印加する電圧 V_s を制御することによってもポテンシャル障壁を制御することが可能である。すなわち、基板 2 1 に印加する電圧 V_s を外部信号として電子保持領域 3 2 と正孔保持領域 3 3 との間の電子に対するポテンシャル障壁を引き下げるようにしてもよい。このように、基板 2 1 に印加する電圧を制御してポテンシャル障壁の高さを制御することにより電子と正孔とを再結合させるから、電子保持領域 3 2 を再結合部 1 5 の構成要素として兼用することができ、しかも基板 2 1 に印加する電圧を制御するだけで電子と正孔とを保持する状態と再結合させる状態とを選択することができ制御が容易である。

【0065】

なお、電子保持領域 3 2 の内側に正孔保持領域 3 3 を形成する例を示したが、電子を目的キャリアとする場合であっても正孔保持領域 3 3 の内側に電子保持領域 3 3 を形成する構成を採用することが可能である。また、電子と正孔との再結合を目的キャリアである電子を保持する電子保持領域 3 2 で行う例を示したが、非目的キャリアである正孔保持領域 3 3 で電子と正孔とを再結合させるように構成することも可能である。

【0066】

ところで、光源 2 の点灯期間において表面電極 2 5 に印加する電圧を十分に高くすれば、基板 2 1 の深部で発生した正孔に対して電子保持領域 3 2 がポテンシャル障壁になるから、基板 2 1 の深部で発生した正孔が正孔保持領域 3 3 に蓄積されるのを防止することができる。すなわち、制御電極 2 6 だけではなく表面電極 2 5 もキャリア弁別部 1 2 として用いるのであり、点灯期間に生じた電子の一部が点灯期間に生じた正孔との再結合によって消滅するのを防止することができる。上述したように、消灯期間に生じた電子はドレイン領域 3 4 a に廃棄されるから電子保持領域 3 2 には点灯期間に生じた電子のみが保持され、一方、点灯期間に生じた正孔は電子保持領域 3 2 の電子と再結合しないから消灯期間に生じた正孔のみが再結合に利用されることになる。このことは、実質的に、消灯期間に外光に対応して生じた正孔 $H(t_1)$ と、点灯期間に外光および信号光に対応して生じた電子 $(E(t_{21}) + E(t_{22}))$ とを再結合させることになり、感光部 1 1 において発生する正孔と電子との個数比を 1 : 1 とすることで、 $H(t_1) = H(t_{21})$ とすれば、再結合によって信号光に対応する電子 (t_{22}) のみを残留させることが可能になる。

【0067】

(実施形態 2)

実施形態 1 においては、消灯期間および点灯期間を通して感光部 1 1 で生成された電子と正孔とのうちの非目的キャリアを、点灯期間において感光部 1 1 で生成された目的キャリアと再結合させることによって、信号光に対応する目的キャリアを取り出す構成を採用しており、消灯期間で生成されるキャリアは非目的キャリアのみを用いているが、点灯期間において生成されるキャリアは目的キャリアと非目的キャリアとの両方を用いている。したがって、キャリア弁別部 1 2 を設けることによって正孔保持部 1 3 と電子保持部 1 4 とに保持するキャリアの個数比を調節するとともに、この個数比を消灯期間と点灯期間との時間比に関連付ける必要がある。

【0068】

本実施形態は、消灯期間においては非目的キャリアのみを保持し、点灯期間においては目的キャリアのみを保持することによって、正孔保持部 1 3 と電子保持部 1 4 とに保持するキャリアの個数比の調節を不要としたものである。本実施形態の原理図を図 7 に示す。図示例では正孔を取り出すのに適した構造の第 1 の感光部 1 1 a と、電子を取り出すのに

適した構造の第2の感光部11bとを設けてある。このような感光部11a, 11bは、p-n接合形またはpin形のフォトダイオードの構造であれば半導体の導電形を入れ換えた構造により実現することができる。また、MIS構造であれば半導体の導電形を入れ換えるとともに、ゲートに印加する電圧の極性を互いに逆極性にすれば実現することができる。

【0069】

第1の感光部11aで生成される正孔はゲート部38aを介して正孔保持部13に保持され、第2の感光部11bで生成される電子はゲート部38bを介して電子保持部14に保持される。ゲート部38aを介して正孔保持部13に正孔を保持するタイミングと、ゲート部38bを介して電子を電子保持部14に保持するタイミングとは異ならせてある。これらのタイミングにおいて、それぞれゲート部38a, 38bが開いているという表現を用いるとすれば、ゲート部38a, 38bは択一的に開くようにタイミング制御部10により制御される。この種のゲート部38a, 38bは実施形態1において説明したゲート電極27と同様のMOS構造によって実現することができ、タイミング制御部10では印加電圧を制御することによって、各ゲート部38a, 38bを択一的に開くことができる。実施形態1と同様に、正孔保持部13に保持された正孔と電子保持部14に保持された電子とは再結合部15において再結合され、残ったキャリアが目的キャリアとして出力部16を通して取り出される。

【0070】

本実施形態では、実施形態1と比較すると、キャリア弁別部12、スイッチ要素17、廃棄部18が不要になっており、感光部11a, 11bを2個設けるとともに、各感光部11a, 11bに対応する2個のゲート部38a, 38bが追加された形になっている。したがって、正孔保持部13と電子保持部14とゲート部38a, 38bとによりキャリア数調節部が構成される。ただし、感光部11a, 11bを2個設けることは必須ではなく、1個の感光部で電子と正孔とを生成し、正孔保持部13には感光部から正孔のみを保持し、電子保持部14には感光部から電子のみを保持するようにゲート部38a, 38bを制御するようにしてもよい。つまり、正孔保持部13と電子保持部14とで感光部を共用する構成としてもよい。

【0071】

いま、実施形態1と同様に電子を目的キャリアとする場合について動作を説明する。消灯期間には第1および第2の感光部11a, 11bには外光のみが入射しており、目的キャリアの保持は不要であるから、ゲート38aを開くとともにゲート38bを閉じておくことにより第1の感光部11aで生成した正孔を正孔保持部13に保持する。一方、点灯期間にはゲート38aを閉じるとともにゲート38bを開くことによって第2の感光部11bで生成した電子を電子保持部14に保持する。すなわち、タイミング制御部10は光源2の発光に同期するようにゲート38a, 38bを開閉する。この動作によって電子保持部14に保持される電子は、外光と信号光とを加算した光量に対応することになる。ここで、消灯期間と点灯期間とを1:1に設定しているものとし、また消灯期間と点灯期間とを外光の光量に変動がない程度の時間に設定しているとすれば、再結合部15において電子と正孔とを再結合させた後には目的キャリアである電子のみが残り、しかも電子の個数は信号光の光量を反映していることになる。

【0072】

実施形態1の構成では、感光部11と正孔保持部13および電子保持部14とが一部の構造を共用しているから（電子保持領域32を含むウェル領域31および正孔保持領域33は、感光部11と正孔保持部13および電子保持部14とに共用されている）、複数回の消灯期間および点灯期間において生成される正孔や電子を正孔保持部13および電子保持部14に保持することはできず、消灯期間と点灯期間との複数回分のキャリアを保持しようとするれば、1回の消灯期間と1回の点灯期間との後にキャリアの再結合を行い、再結合後の目的キャリアを出力部16において蓄積（積分）しなければならない。これに対して、本実施形態の構成では、第1および第2の感光部11a, 11bと正孔保持部13お

よび電子保持部 14 との間にゲート部 38 a, 38 b が設けられ、感光部 11 a, 11 b と正孔保持部 13 および電子保持部 14 との構造が独立しているから、キャリアの再結合前に正孔および電子をそれぞれ積分することが可能であって、消灯期間と点灯期間とを複数回繰り返し、正孔保持部 13 および電子保持部 14 にそれぞれ正孔および電子を保持した後に再結合部 15 における再結合を行うことが可能になる。

【0073】

また、実施形態 1 の構成では、点灯期間において生成される非目的キャリアには信号光に対応する成分が存在し、この成分が目的キャリアと再結合することにより目的キャリアにおいて信号光に対応する成分の一部が消失するから、信号光の光量に対する目的キャリアの個数が少なくなり、結果的に信号光に対する感度がやや低くなっている。これに対して、本実施形態では、点灯期間において生成された目的キャリアと消灯期間において生成された非目的キャリアとを再結合させるから、消灯期間と点灯期間とを 1 : 1 に設定しておけば、信号光に対応して生成される目的キャリアが再結合によって消失することがなく、実施形態 1 の構成よりも信号光に対する感度が高くなる。他の構成および動作は実施形態 1 と同様である。また、上述した各実施形態において目的キャリアを電子とし、非目的キャリアを正孔としているが、目的キャリアを正孔とし、非目的キャリアを電子とすることも可能である。

【0074】

(実施形態 3)

実施形態 1 において説明した光検出素子 1 は、光源 2 の消灯期間に生成された目的キャリアをスイッチ要素 17 および廃棄部 18 により廃棄し、消灯期間に生成された目的キャリアが点灯期間に生成された目的キャリアと混合されないようにしているが、本実施形態はスイッチ要素 17 および廃棄部 18 を省略している。また、実施形態 1 では正孔保持領域 33 から押し出した正孔をウェル領域 31 において電子と再結合させているが、本実施形態では正孔保持領域 33 に電子を引き込むことによって正孔に電子を再結合させるように構成してある。

【0075】

本実施形態の光検出素子 1 では、図 8 に示すように、p 形（第 1 導電形）の半導体（たとえば、シリコン）からなる基板 21 の主表面に、p 形の素子形成層 22 を積層してある。素子形成層 22 の主表面には酸化層（たとえば、シリコン酸化層）である絶縁層 24 を介して表面電極 25 が設けられる。絶縁層 24 には素子形成層 22 の主表面から離間した制御電極 26 およびゲート電極 27 が素子形成層 22 の表面に沿った異なる部位に埋め込まれる。表面電極 25 および制御電極 26 は光が透過可能になっている。また、実施形態 1 と同様に電荷転送領域 36 も設けられる。

【0076】

素子形成層 22 には n 形のウェル領域 31 が形成され、素子形成層 22 の主表面側であってウェル領域 31 に囲まれる部位には正孔保持部 13 として機能する p 形の正孔保持領域 33 が形成される。すなわち、正孔保持領域 33 は非目的キャリアである正孔を保持するキャリア保持領域になる。制御電極 26 は平面視において正孔保持領域 33 よりも面積が小さく、制御電極 26 の前部は正孔保持領域 33 の一部に対向する。正孔保持領域 33 のうち制御電極 26 に対向する領域は再結合部 15 として機能するポケット領域 33 a となり、正孔保持領域 33 のうちポケット領域 33 a 以外の領域は正孔を一時的に待避させる待避領域 33 b となる。ウェル領域 31 および正孔保持領域 33 には光を照射可能であって、光が照射されると光励起による電子および正孔が生成される。ポテンシャル井戸を形成するために表面電極 25 には正電位の電圧（図示例では 5 V）を常時印加しており、光照射時には正孔保持領域 33 に正孔を保持できるように制御電極 26 に負電位の電圧（図示例では -3 V）を印加する。したがって、図 9 のように、光照射によって正孔保持領域 33 との近傍において生成される正孔は正孔保持領域 33 に保持され、ウェル領域 31 の近傍で生成される電子はウェル領域 31 に保持される。

【0077】

正孔保持領域 3 3 の厚みおよび面積とウェル領域 3 1 の面積と制御電極 2 6 に印加する電圧との関係によって、光照射によってウェル領域 3 1 に保持される電子の個数を正孔保持領域 3 3 に保持される正孔の個数よりも多くすることができる。つまり、正孔保持領域 3 3 と制御電極 2 6 とによりキャリア数調節部が構成される。また、素子構造は設計によって決まり外部信号による制御はできないから、ウェル領域 3 1 に保持する電子と正孔保持領域 3 3 に保持する正孔との個数は制御電極 2 6 に印加する電圧により調節されるのであって、制御電極 2 6 がキャリア弁別部 1 2 として機能する。また、ウェル領域 3 1 に保持される電子および正孔保持領域 3 3 に保持される正孔の大部分は、ウェル領域 3 1 と正孔保持領域 3 3 とにおいて生成されるから、ウェル領域 3 1 と正孔保持領域 3 3 とが感光部 1 1 として機能する。

【0078】

本実施形態の構成では、光源 2 の消灯期間と点灯期間と制御電極 2 6 への印加電圧とを適宜に調節することで、再結合前において、ウェル領域 3 1 に保持されている電子の個数を正孔保持領域 3 3 に保持されている正孔の個数よりも多くすることが可能である。本実施形態においては、消灯期間に生成された電子を廃棄していないが、光源 2 の点灯期間に生成された電子を光源 2 の消灯期間に生成される電子の個数分以上の正孔と再結合し、かつ再結合される電子の個数を正孔の個数よりも多くするという条件を満たすことは可能である。要するに、再結合後に電子を残留させるようにしながらも、外光成分を除去することが可能である。図 9 の状態は、消灯期間と点灯期間との後に上記条件を満たすように電子と正孔とがそれぞれウェル領域 3 1 と正孔保持領域 3 3 とに保持されている状態を示している。

【0079】

電子と正孔とを再結合させるために、本実施形態では、図 9 のように制御電極 2 6 に負電位の電圧（図示例では -3 V ）を印加する状態と、図 10 のように正電位の電圧（図示例では $+3\text{ V}$ ）を印加する状態とを複数回繰り返す。再結合に要する期間は消灯期間および点灯期間に比較して十分に短い期間であって、たとえば $2 \times 10^{-8}\text{ s}$ 程度の周期で電位を数回入れ換える。制御電極 2 6 を正電位にすると、正孔がポケット領域 3 3 a から待避領域 3 3 b に移動し、電子がウェル領域 3 1 からポケット領域 3 3 a に移動する。このとき、正孔の一部は絶縁層 2 4 との間の界面電位にトラップされており、トラップされている正孔は電子と再結合されることにより消滅する。ただし、一部の正孔は p 形の正孔保持領域 3 3 の中で移動し、待避領域 3 3 b に待避して残留する。再結合は、正孔を消滅させることが目的であるから、待避領域 3 3 b に待避した正孔も消滅させなければならない。そこで、制御電極 2 6 にふたたび負電位の電圧を印加し、待避領域 3 3 b に待避していた正孔をポケット領域 3 3 a に引き入れる。このとき、電子は主として n 形であるウェル領域 3 1 に移動する。

【0080】

上述の動作を複数回繰り返すことによって、正孔保持領域 3 3 の正孔を再結合によって消滅させることができる。また、正孔の消滅時点においても電子の一部は残留するから、制御電極 2 6 に正電位の電圧を印加することによりポケット領域 3 3 a に残留した電子を引き込み、ゲート電極 2 7 に正電位の電圧を印加することによりポケット領域 3 3 a から電荷転送領域 3 6 に電子を転送することができる。他の構成および動作は実施形態 1 と同様である。

【0081】

ところで、上述したように、再結合後にはポケット領域 3 3 a から電荷転送領域 3 6 に電子を転送しており、図 8 に示した構成のように、ポケット領域 3 3 a と電荷点灯領域 3 6 との間に p 形である待避領域 3 3 b が存在していると、ゲート電極 2 7 に比較的高い電圧を印加しなければ電子を移動させることができないという問題が生じる。そこで、図 11 のように、正孔保持領域 3 3 のうち電荷転送領域 3 6 に対向する部位には待避領域 3 3 b を設けないことが臨ましい。図 11 の構成例では平面視において待避領域 3 3 b はコ字状になる。

【0082】

さらに、上述した例ではポケット領域33aと待避領域33bとの不純物濃度を一定にしているが、ポケット領域33aと待避領域33bとの間での正孔の移動度を高めるために、待避領域33bについては不純物濃度を高濃度にすることが望ましい。すなわち、ポケット領域33aをp形とすると、待避領域33bはp⁺形とするのが望ましい。また、待避領域33bをp⁺形とする代わりに、図12に示すように、制御電極27の周囲に待避領域33bと対向する待避用制御電極28を設け、ポケット領域33aと待避領域33bとの間で正孔を移動させる際に、待避領域33bの正孔に対するポテンシャルを制御することで正孔の移動度を高めるようにしてもよい。また、図12に示す構成であれば、待避領域33bがポケット領域33aの全周を囲むようにして正孔がウェル領域31に流出するのを防止しながらも、ポケット領域33aから電荷転送領域36に電子を移動させる際にはポケット領域33bの電子に対するポテンシャルを引き下げて電子の移動度を高めることが可能である。他の構成および動作は実施形態1と同様である。

【0083】

なお、感光部11で生成された目的キャリアおよび非目的キャリアについて再結合後に目的キャリアを残留させるために、キャリア数調節部によって、再結合される目的キャリアの個数が非目的キャリアの個数よりも多くなるようにしておけばよい。

【図面の簡単な説明】

【0084】

【図1】 本発明の実施形態1の原理図である。

【図2】 同上における原理説明図である。

【図3】 同上の機能を実現する半導体装置を示す概略断面図である。

【図4】 同上の半導体装置における一動作を示す動作説明図である。

【図5】 同上の半導体装置における一動作を示す動作説明図である。

【図6】 同上の変形例を示す概略断面図である。

【図7】 本発明の実施形態2の原理図である。

【図8】 本発明の実施形態3の半導体装置を示す概略断面図である。

【図9】 同上の半導体装置における一動作を示す動作説明図である。

【図10】 同上の半導体装置における一動作を示す動作説明図である。

【図11】 同上の半導体装置の他例を示す概略断面図である。

【図12】 同上の半導体装置のさらに他例を示す概略断面図である。

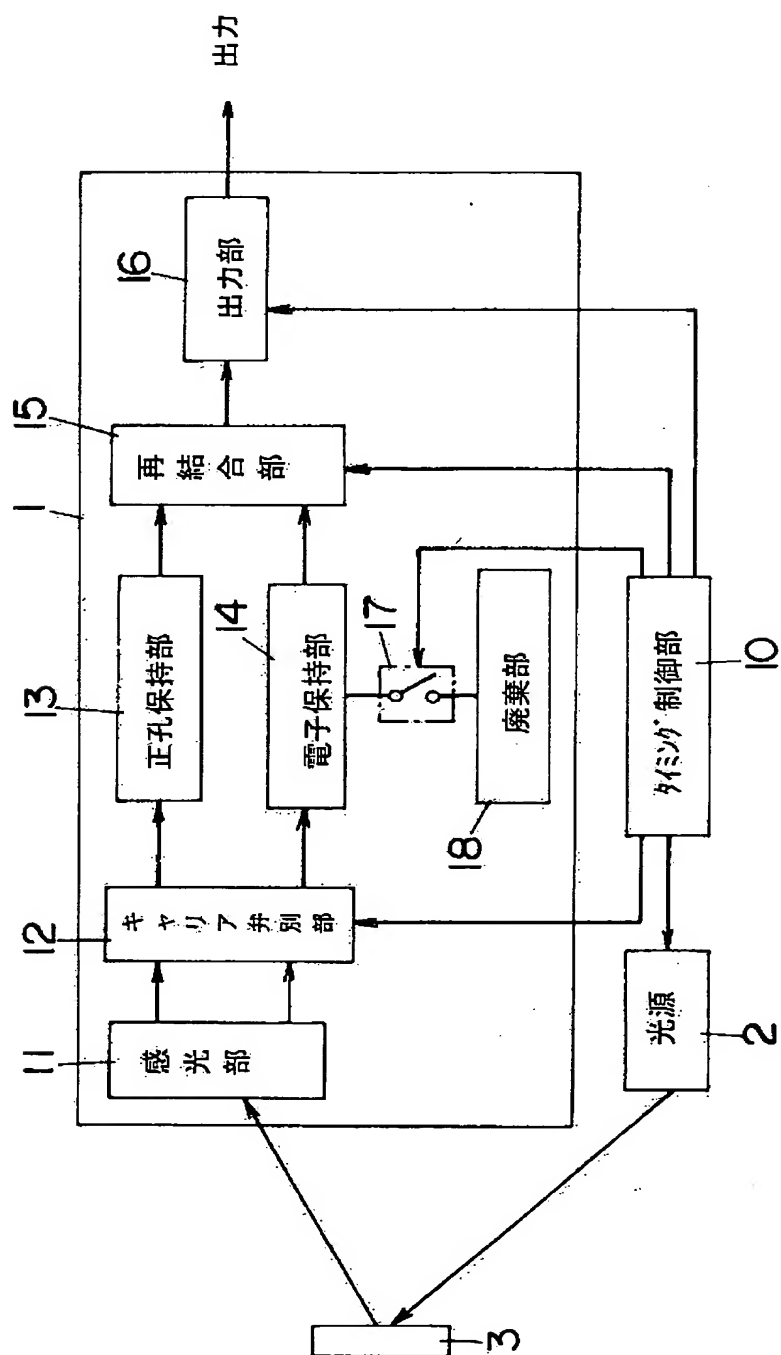
【符号の説明】

【0085】

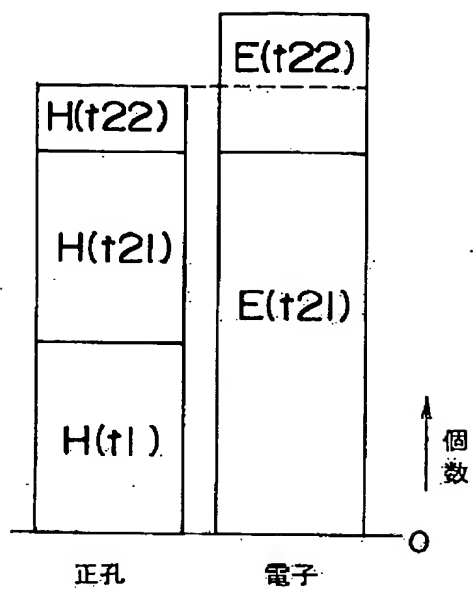
- 1 光検出素子
- 2 光源
- 10 タイミング制御部
- 11 感光部
- 11a, 11b 感光部
- 12 キャリア数調節部
- 13 正孔保持部
- 14 電子保持部
- 15 再結合部
- 16 出力部
- 17 スイッチ要素
- 18 廃棄部
- 21 基板
- 22 素子形成層
- 23 埋込層
- 24 絶縁層
- 25 ゲート

2 6 制御電極
2 7 ゲート電極
3 1 ウェル領域
3 2 電子保持領域
3 3 正孔保持領域
3 4 a , 3 4 b ドレイン領域
3 5 a , 3 5 b ドレイン電極
3 6 電荷転送領域
3 8 a , 3 8 b ゲート部

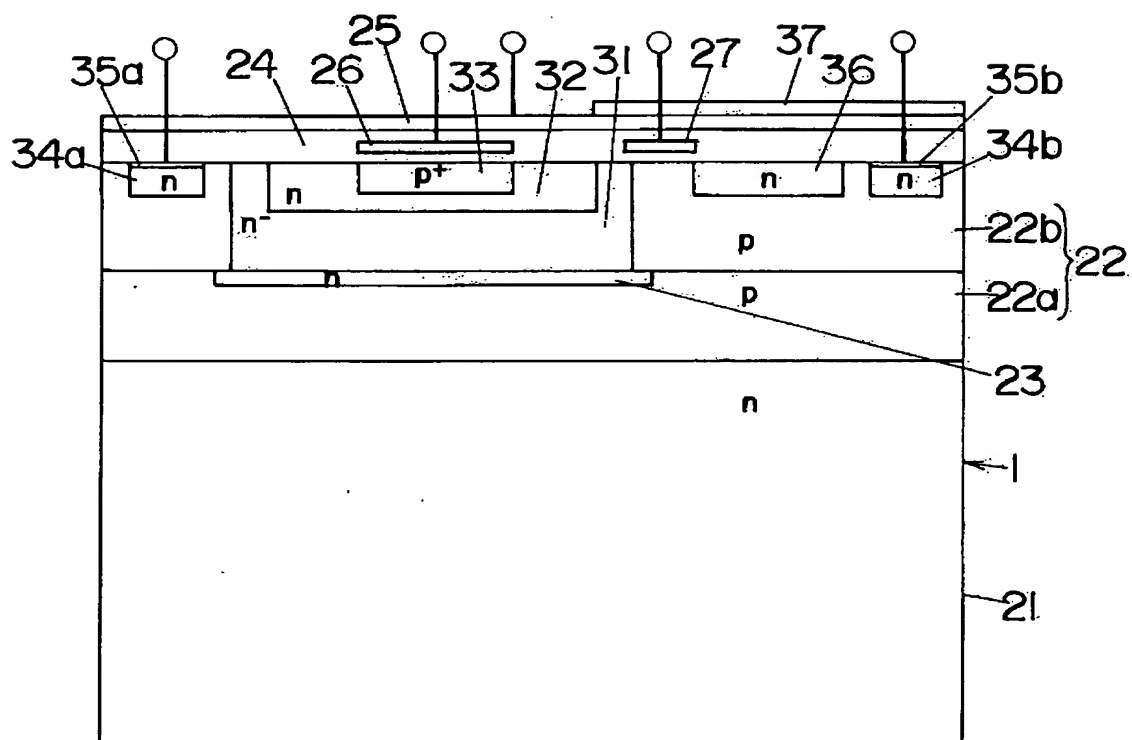
【書類名】 図面
【図 1】

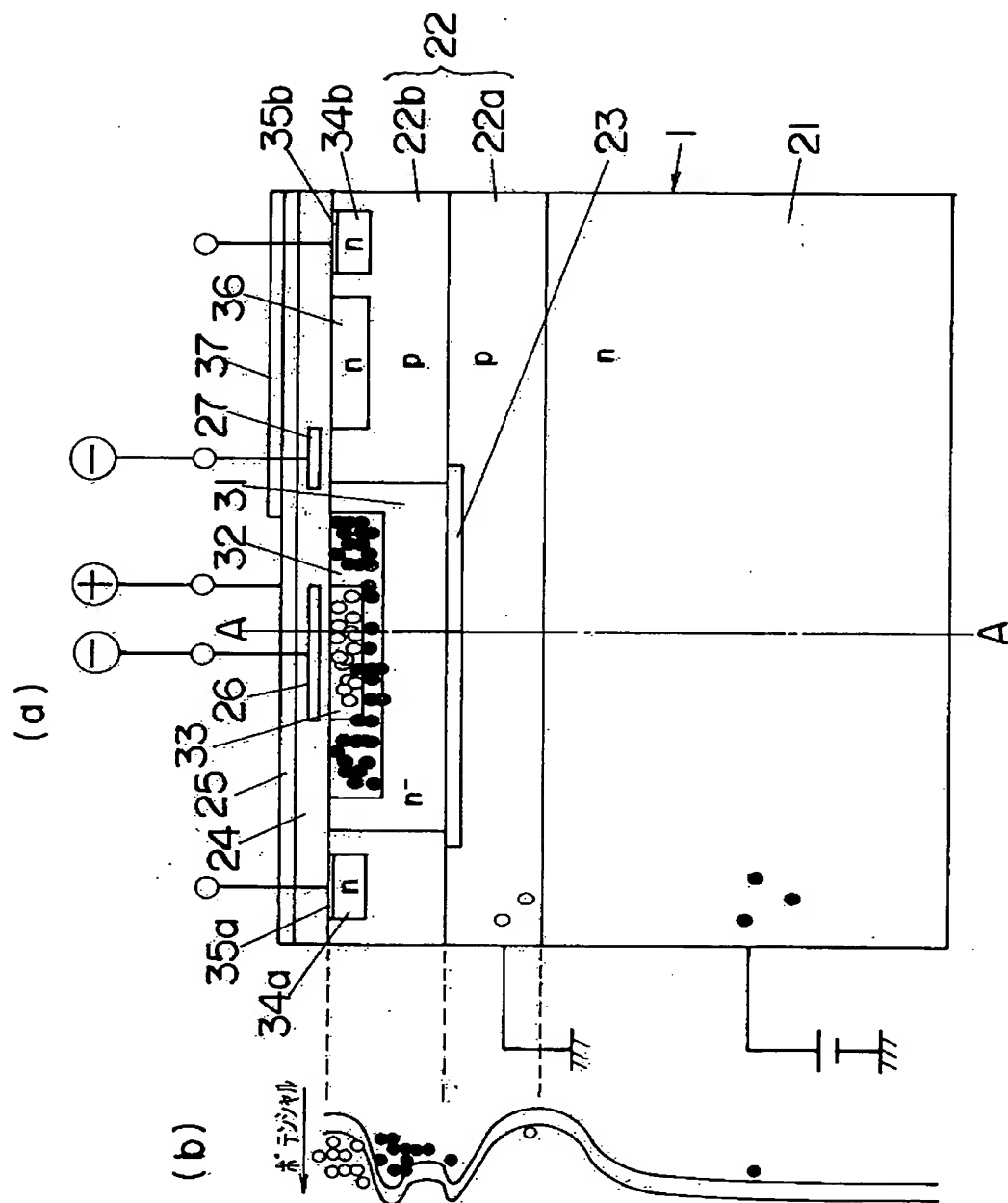


【図2】

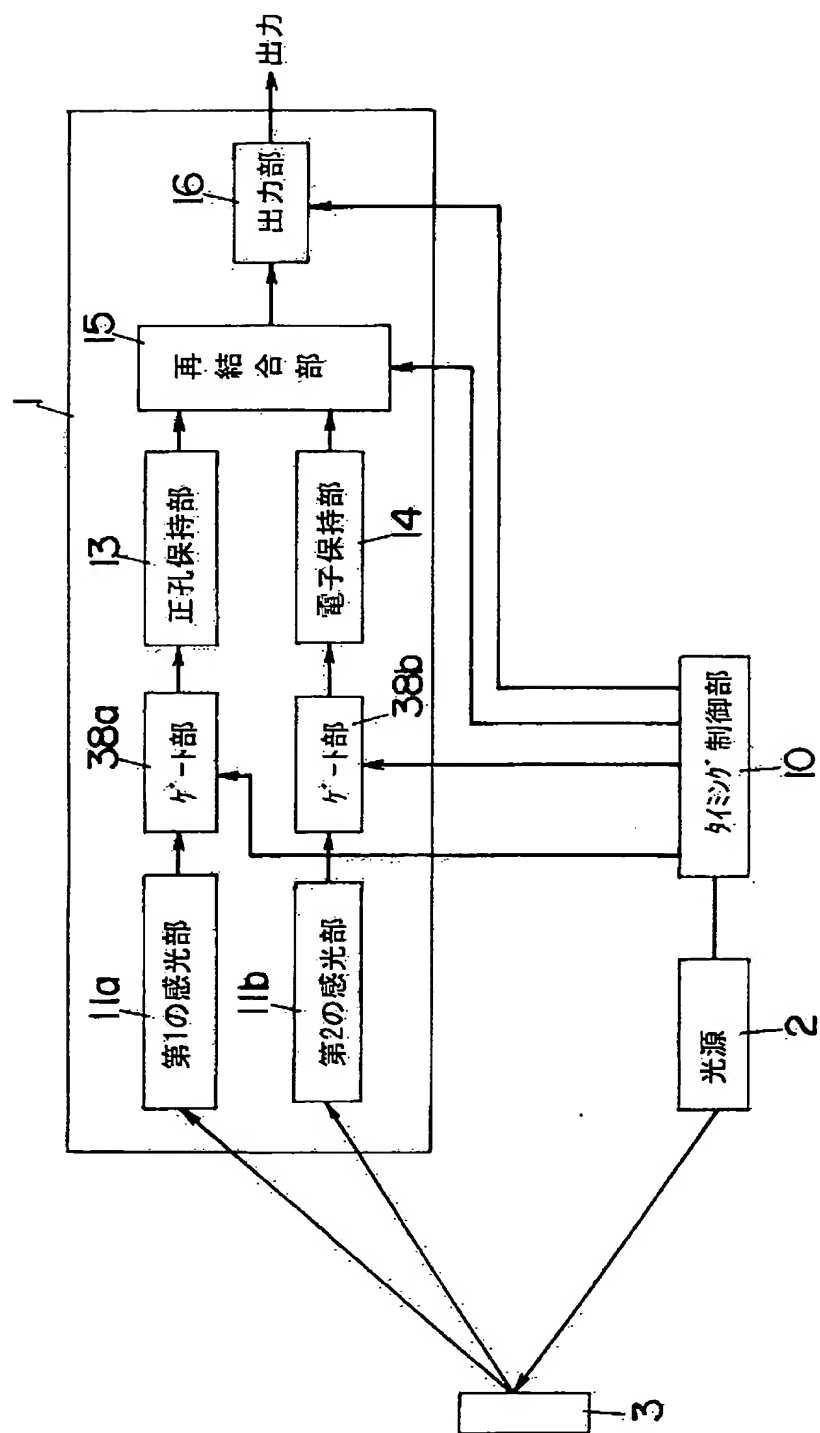


【図3】

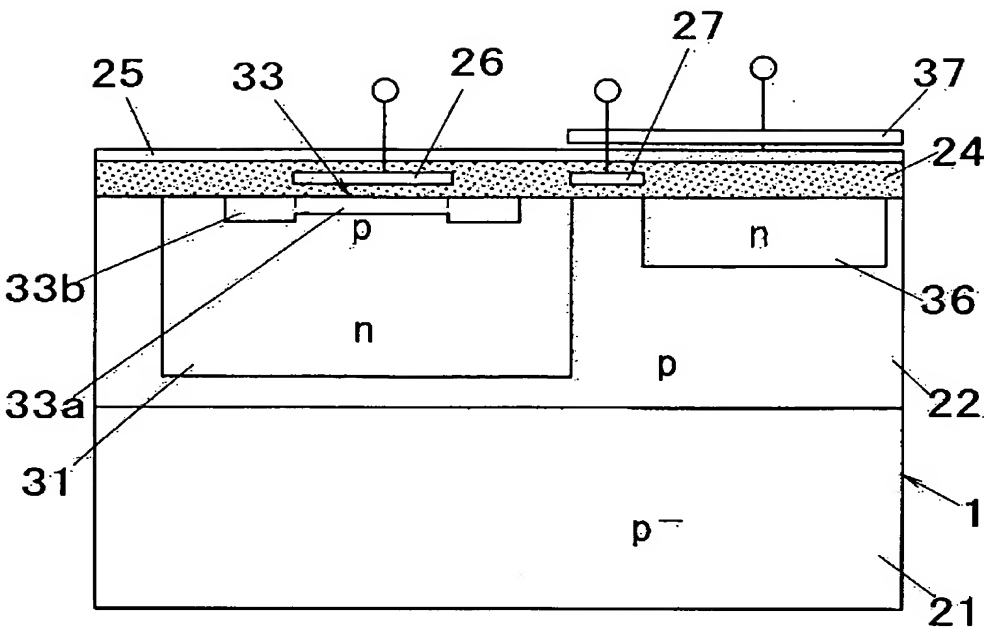




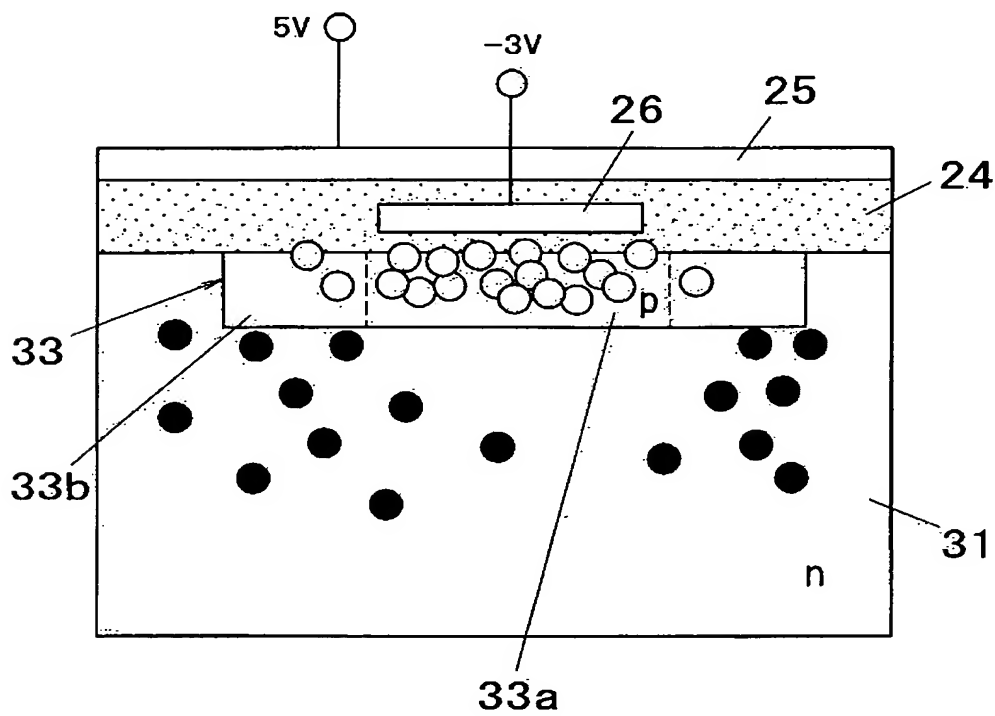
【図 7】



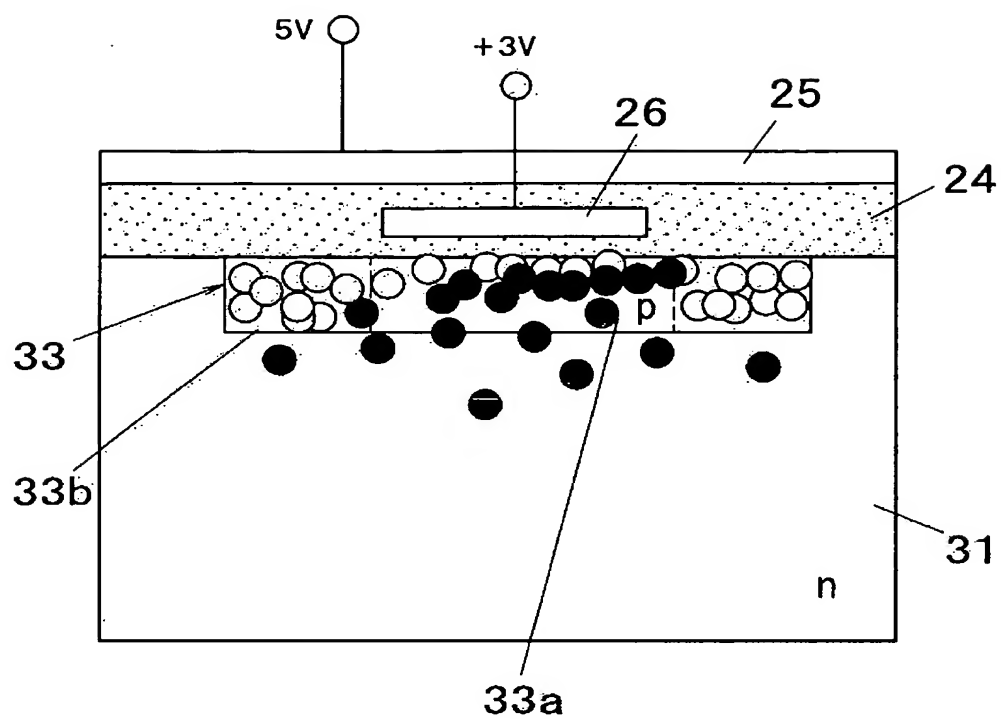
【图 8】



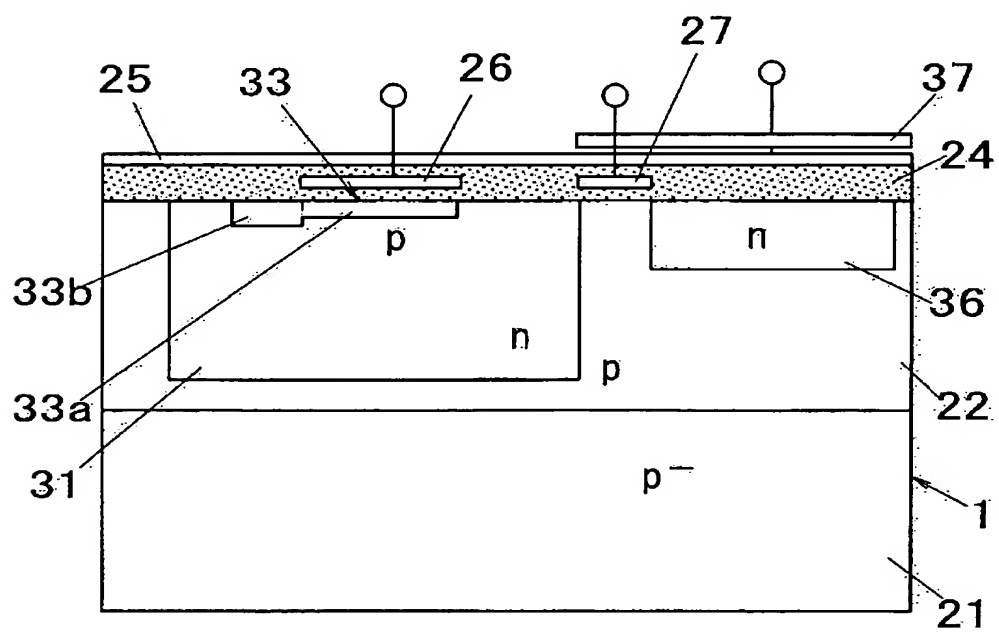
【图 9】



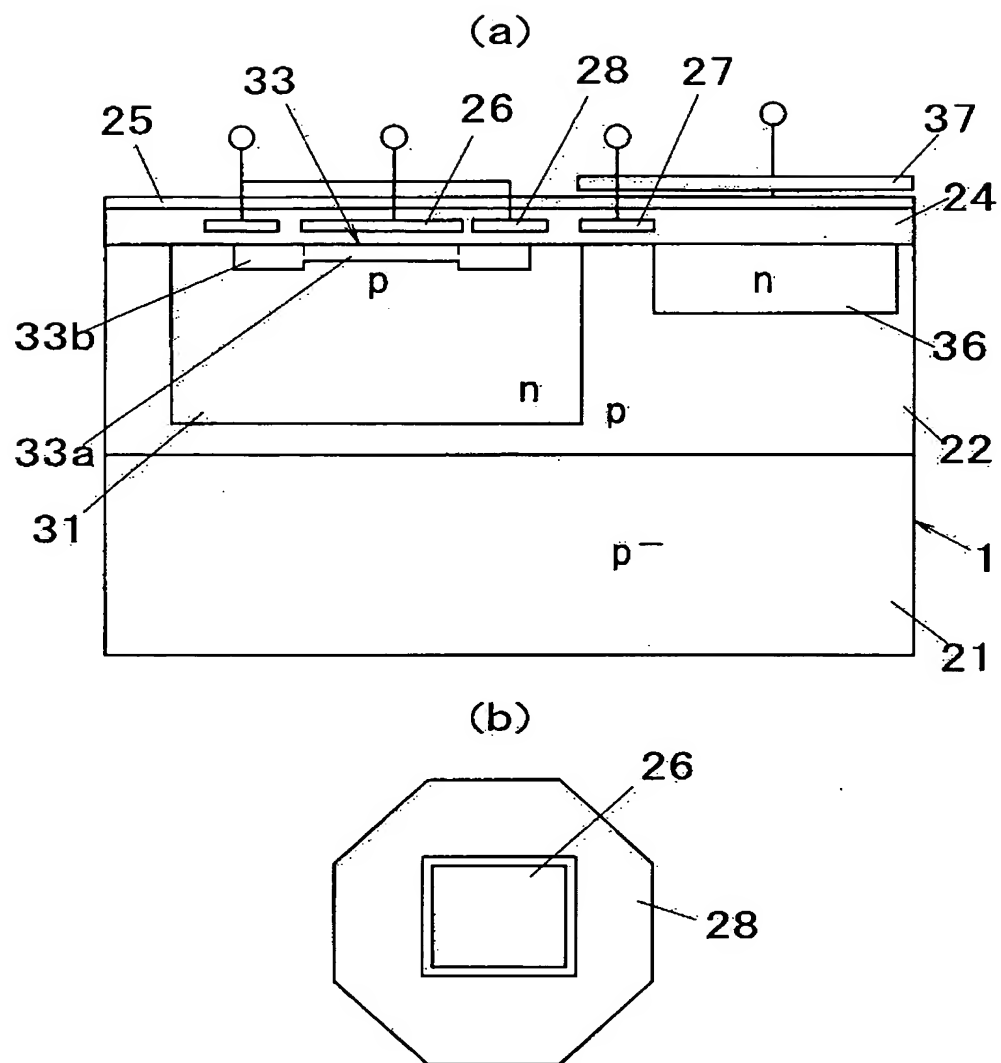
【図 10】



【図 11】



【図 12】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.